

Mossbauer効果によるFe合金の磁性の研究

著者	山本 尚夫
号	139
発行年	1967
URL	http://hdl.handle.net/10097/23297

氏名・（本籍）	やま もと ひさ お 山 本 尚 夫
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 1 3 9 号
学位授与年月日	昭和42年1月18日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和23年3月 東北大学理学部物理学科卒業
学位論文題目	Mössbauer 効果による Fe 合金の磁性の研究
論文審査委員	(主査) 教授 渡 辺 浩 教授 広 根 徳太郎 教授 平 原 栄 治

論 文 目 次

総 論

第1章	Fe ⁵⁷ 核のメスbauer効果の原理	第5章	Fe-Cr合金メスbauer効果
§1	γ線の共鳴吸収	第6章	Fe-Cr合金の比熱
§2	Isomer Shift	第7章	総 括
§3	超微細相互作用		
§4	電氣的四重極相互作用		
§5	強い磁場中の電氣的四重極相互作用		
第2章	メスbauer効果測定装置		
§1	14.4 KeV γ線検出部		
§2	速度検出部		
§3	線源の作製		
§4	測定の方法		
§5	本装置の特長		
§6	魔法瓶		
第3章	Fe-Ge系強磁性金属間化合物		
§1	Fe ₃ Ge		
§2	Fe ₅ Ge ₃		
第4章	Fe-Sn合金		
§1	Fe ₅ Sn ₃		
§2	FeSn		

論文内容要旨

総論

本研究は Fe 合金及び金属間化合物の磁性と金相学的諸問題に対してメスバウアー効果を主な研究手段とし、他に磁気測定比熱、X線解析等を用いて、二三の点を解明したものである。研究対象物は Fe-Cr 合金、Fe-Ge 系、および Fe-Sn 系における金属間化合物である。

第 1 章 Fe⁵⁷核のメスバウアー効果の原理

§ 1. γ 線の共鳴吸収

Co⁵⁷ から変換した Fe⁵⁷ の第 2 励起準位のうち 91% は第 1 励起準位となる。ここで 10^{-7} sec の半減期で 14.4 KeV の γ 線を放射する。

これを固体中の Fe⁵⁷ が recoilless の状態で共鳴吸収する確率 f は

$$f = \exp \left[-\frac{E_R}{k\theta_D} \left\{ \frac{3}{2} + \frac{\pi^2}{6} \frac{T^2}{\theta_D^2} \right\} \right]$$

である。

茲に $E = 14.4$ KeV に対して

$$E_R = E^2 / 2Mc^2 = 1.951 \text{ V}, \quad \theta_D : \text{Debye 温度である。}$$

又 14.4 KeV の半値巾 Γ は 4.6×10^{-9} eV である。

この充分狭い Γ と大きな f 値より Fe⁵⁷ のメスバウアー効果は容易に観測される。

§ 2. Isomer Shift

放射線源と吸収体との間には次の様なエネルギー差が与えられる。即ち

$$\delta = (A_{\text{abs}} - A_s) + \frac{2}{5} \pi Z e^2 (R_{\text{ex}}^2 - R_{\text{gd}}^2) \{ |\varphi(o)|^2_{\text{abs}} - |\varphi(o)|^2_s \}$$

茲に A は格子振動の差異により生ずる。温度及び Debye 温度の関数である。 R 、 Z はそれぞれ原子核の半径及び電荷であり $-e |\varphi(o)|^2$ は原子核の位置における電子の電荷密度である。

A の項は第二項に比べ小さい。第二項については Watson - Freeman の図表がある。

§ 3. 超微細相互作用

核磁気能率 μ の原子核が磁場 H の中にあるとき、エネルギー準位は

$$E_m = -\mu H m_I / I = -g \mu_N H m_I$$

$$m_I = I, I-1, \dots, -I$$

茲に

μ_N は nuclear magneton, g は gyromagnetic ratio である。

14.4 KeV の γ 線は M I 輻射で基底準位 ($I = \frac{1}{2}$) と第 1 励起準位 ($I = \frac{3}{2}$) 間の遷移は $\Delta m \leq 1$ である。

§ 4. 電氣的四重極相互作用

Fe^{57} の第1励起準位は $I = \frac{3}{2}$ であるからエネルギー単位は

$$E_{\pm \frac{3}{2}} = \frac{1}{4} e^2 q Q \left(1 + \frac{\eta^2}{3}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$E_{\pm \frac{1}{2}} = -\frac{1}{4} e^2 q Q \left(1 + \eta^2/3\right)^{\frac{1}{2}}$$

である。

茲に

eq は電場勾配, eQ は四重極能率, η は asymmetry parameter である。

§ 5. 強い磁場中の電氣的四重極相互作用

原子核が強い磁場中に存在する場合には電氣的四重極相互作用を磁氣二重極相互作用の摂動として取扱う。

特に一軸性の場合 ($\eta = 0$)

$$e^2 q Q / \mu H \ll 1 \text{ ならば}$$

$$E_{\pm \frac{3}{2}} = -g e \mu_N H m + (e^2 q Q / 8) (3 \cos^2 \theta - 1)$$

$$E_{\pm \frac{1}{2}} = -g \mu_N H m - \frac{e^2 q Q}{8} (3 \cos^2 \theta - 1)$$

と表示出来る。

第2章 メスバウアー効果測定装置

§ 1. 14.4 KeV γ 線検出部

(a) シンチレーター: NaI (Tl)

25.4 $\phi \times 2$ mm Be 窓のものをを用いた。(神戸工業製 SG-402B) 本研究の一部には 0.5 mm 厚のものをを用いた場合もある。

(b) 光電子増倍管

低エネルギー γ 線検出のため EMI-9536S をを用いた。

Dark Current 0.001 μ a である。

(c) 比例増巾器

神戸工業製 01T-002 の電流積分後 Delay Line clipping 方式を用いた。

(b) シングルチャネル波高分析器

神戸工業製 03T-002 を用い 14.4 KeV の γ 線のみ検出してパルス波高変調器に入れる。

以上の検出部の分解能は $\text{Cu K}\alpha$ で 75 % である。

§ 2 速度検出部

(a) 線源駆動部

γ 線源に Doppler 速度を与えるため二つのスピーカーを用いる。一方を駆動用とし、他方に線源を装着し駆動用と共振させて速度に比例した電圧を voice coil から取出す。

(b) 移相及び増巾部

γ 線放射時の瞬間の速度を表わす voice coil の電圧は、増巾の過程で位相のずれを生ずる。これを補正するため C R 移相器を通し γ 線のパルスと同期させる。増巾部は強度の負帰還をかけて長時間増巾度を一定にする。

(c) パルス波高変調器

シングルチャネル波高分析器から出るパルスを速度に比例した波高に変調する。回路はエミッター結合の univibrator を基本とするものである。

(d) 400 チャネル波高分析器

TMC404-6 型の 200 チャネルをパルス波高変調器の出力を記憶するのに用いる。

§ 3 線源の作製

1 mC の Co^{57} を Pt 箔又は Cu 箔上にメッキし拡散焼鈍する。

メッキは HCl 溶液中の Co^{57} を蒸発乾固しアンモニア水中で Pt 線を陽極として行う。

§ 4 測定の方法

(a) 速度の述べ方

標準試料として Fe 粉を 20 mg/cm² の厚さにセロテープ上に塗布する。400 チャネル波高分析器の吸収線の現れたチャネル数に、速度の絶対値を対応させる。本実験ではチャネル数は速度に比例する。

(b) 規格化の方法

スピーカーの駆動は波を用いるため、速度分布は正弦曲線となる。この曲線は試料を取除いた場合のパルス波高の分布を 200 ~ 400 チャネル間に記憶させて速度分布曲線を求めて、1 ~ 200 チャネルに記憶した測定値を規格化する。

(c) パルスと速度電圧の同期の求め方

ステンレス 310 を用いて観測される吸収線の半値巾が最小になる様に、C R 移相器の R を変化して同期をとる。

§ 5 本装置の特長

“Modulation mode” を用いた。即ちシングルチャネル波高分析器の出力パルスを速度に比例した波高のパルスに変える。これは 400 チャネル波高分析器に記憶させた場合チャネル数が速度に比例すると云う利点の他に、駆動系の振巾や周波数の変動に対して “Time mode” より安定である。然しスペクトルのベースは正弦波となるので規格化が必要となる。

又本装置は往復振動の半サイクルを消滅しないので、測定時間は半分ですむ。

§ 6. 魔 法 瓶

金属魔法瓶の下部に取りつけた窓孔のある銅ブロックの熱伝導により試料を冷却する。 γ 線通過窓はアルミ箔（40 μ 厚）を用いた。

第 3 章 Fe—Ge 系強磁性金属間化合物

§ 1. Fe₃ Ge

(a) 緒 論

Fe₃ Ge の金属間化合物には 700°C 以下で安定な ϵ_1 相と 700°C 以上で安定な ϵ 相がある。前者の結晶構造は正方晶 L1₂ 型、 $a = 3.665 \text{ \AA}$ 、後者は六方晶 DO₁₉ 型 $a = 5.169 \text{ \AA}$ 、 $c = 4.222 \text{ \AA}$ であり Fe 原子の第 3 隣接原子の配列に大きな差違が存在する。

金属間化合物に於ても、伝導電子のスピンの偏極の効果が第 3 隣接格子点にまで及ぶとすれば、この両相の Fe 核に於ける内部磁場の値には差違が見出されるであろう。

本実験は Fe を基とする希薄合金に見られる長範囲の伝導電子のスピンの偏極が金属間化合物にも存在するか否かを調べるため行う。

(b) 実験・結果及び考察

試料は Fe 粉及び Ge 粉を石英管中に真空封入して 1000°C で 2 日間焼結し、水中に焼入れた。 ϵ 相は 800°C で 20 時間焼鈍後、 ϵ_1 相は 600°C で 50 日間焼鈍後それぞれ水中に焼入れた。これ等の結果は X 線回折で調べた。

メスbauer効果測定の結果は下表に示す。

	DO ₁₉ (六方晶)		L1 ₂ (立方晶)	
キュリー温度	655° K		755° K	
測定温度	液体空気	20°C	液体空気	20°C
内部磁場	(268±5) KOe	(239±5) KOe	(271±5) KOe	(247±5) KOe
アイソマーシフト	(0.45±) mm/sec	(0.31±0.1) mm/sec	(0.50±0.1) mm/sec	(0.30±0.1) mm/sec
四重極分離	~ 0	~ 0	+ 0.13 mm/sec	+ 0.13 mm/sec

此等の値を 0°K に外挿すると 272 KOe (DO₁₉ 型) 及び 273.5 KOe (L1₂ 型) となる。この相違は実験精度から考えて明かでない。

両相の Fe 原子から見た場合、第 1 隣接格子点は 2.59 \AA の距離に 8 Fe と 4 Ge で構成され、第 2 隣接格子点は 3.66 \AA に 6 Fe で構成される。しかし対称性は異なる。第 3 隣接格子点はそれぞれ L1₂ 型 (4.49 \AA に 16 Fe と 8 Ge)、DO₁₉ 型 (4.23 \AA に 2 Fe) である。両相のキュリー点は 755°K 及び 655°K と異なる値をとるが内部磁場の 0°K の値はメスbauer効果によ

る検出可能な相違を示さない。

§ 2 Fe₅Ge₃

(a) 緒 論

この金属間化合物は六方晶 $B8_2$ 型構造をもち $a = 4.02 \text{ \AA}$, $c = 5.02 \text{ \AA}$ である。その原子の充填の様相から二種類の Fe 原子 [2 (a) 及び 2 (d) 上] の化学結合と磁気能率との関係が磁気測定及び中性子線回折の結果から論ぜられて来た。然し今迄発表された結果には一致しない点が多い。

本実験は内部磁場及びアイソマーシフトの測定から 2 (a) 及び 2 (d) 格子点上の Fe 原子の結合及磁気能率について考察する。

(b) 実験, 結果及び考察

試料作製は Fe₅Ge の場合と同様な手法を用いた。即ち 1000°C で 2 日間焼結した。

更に粉末にし 800°C で 20 時間焼鈍後水中に焼入れた。

メスbauer効果の測定結果は下表に示す。

格 子 点	2 (a)	2 (d) - I	2 (d) - II
内 部 磁 場	$(136 \pm 5) \text{ KOe}$	$(214 \pm 5) \text{ KOe}$	$(256 \pm 5) \text{ KOe}$
アイソマーシフト	$\sim +0.5 \text{ mm/sec}$	$\sim +0.4 \text{ mm/sec}$	$\sim +0.4 \text{ mm/sec}$

今迄の多くの実験事実から Fe 原子のもつ単位磁気能率当りの内部磁場の値は或る範囲内の値をもつ。

現在まで発表された磁気能率の値は次の表に示す。

著 者	兼 松 (考 察)	桂 木 (中性子線回折)	兼 松 (磁気測定)	Forsyth 等 (中性子線回折)	Adelson 等 (中性子線回折)
2 (a)	$S = 1$	$1.56 \text{ } \mu\text{B}$	$0.8 \text{ } \mu\text{B}$	$1.4 \text{ } \mu\text{B}$	$1.3 \text{ } \mu\text{B}$
2 (d)	$S = \frac{1}{2}$	$0.53 \text{ } \mu\text{B}$	$2.8 \text{ } \mu\text{B}$	$1.9 \text{ } \mu\text{B}$	$1.1 \text{ } \mu\text{B}$

内部磁場の値と此等の実験結果と比較した場合に Forsyth 等の結果及び兼松等の磁気測定の結果が最も矛盾が少ない。

又アイソマーシフトの値に大きな差のないことから兼松等の磁気測定の結果との一致は良くない。

第4章 Fe-Sn 合金

§ 1. Fe₅Sn₃

(a) 緒 論

従来 Fe_{1.3}Sn のみが此の合金系の B₈₂型構造と考えられて来たが最近 Fe₅Sn₃も同一の結晶構造をもつものと発表された。本実験は Fe_{1.3}Sn と Fe₅Sn₃の状態図上の位置を明らかにし前記 Fe₅Ge₃と同様な立場から磁気測定及びメスbauer効果の測定を行う。

(b) 実験・結果及び考察

試料は Fe 粉及び Sn 粒を石英管に真空封入し 800°C で 3 日間焼結した。

X線解折……………760°C から 850°Cの間で焼入れた試料は B₈₂ 型構造をとる。830°C 焼入れのものの格子常数は

$$a = 4.203 \text{ \AA} \quad c = 5.27 \text{ \AA} \text{ である。}$$

Fe_{1.3}Sn は単相のものは得られなかった。

磁気測定……………830°C 以下で焼入れたものはキュリー点が 280°C ± 5°C である。それ以上から焼入れた場合は、キュリー点は焼入温度と共に上昇し、280°C ~ 330°C の間の値となる。

メスbauer効果……………測定結果は下表に示す。

格 子 点	2 (a)	2 (d) - I	2 (d) - II
内 部 磁 場	(187±5) KOe	(247±5) KOe	(208±5) KOe
アイソマーシフト	~+0.4 mm/sec	~+0.4 mm/sec	~+0.4 mm/sec

此の結果から 2(d)格子点上の Fe 原子の内部磁場の値は 2(a)のものより大きいと云う結果は Fe₅Ge₃ の場合と同様であり isomer shift の値も同じである。

2(d)格子点上の内部磁場が二つ存在することについては不明であるが、この二つの値を中心とする巾の広い値を取ると考えられる。これは欠損格子点による内部磁場の分布を示すと考えることが出来る。

850°C 以上から焼入れた試料では回折線の位置は変わらないが (110) と (102) の強度は逆転する。従って 850°C 以上は変型した B₈₂ 型と考えられる。

§ 2 FeSn

(a) 緒 論

FeGe が B₃₅ 型構造をもつ多強磁性体にもかかわらず同一構造の FeSn は従来常磁性体と報告されている。

一方 FeGe₂ と FeSn₂ は同じ結晶構造をもつ反強磁性体であるがそのスピン構造は異なる。本実験は FeSn の磁気及びメスbauer効果の測定から、その磁性及びスピン構造についての知見を求める。

(b) 実 験

Fe粉及びSn粒を石英管に真空封入し650℃で3日間焼結し水中に焼入れた。これを更に粉にし再び加熱後(650℃)水中に焼入れた。

磁気測定から360Kに帯磁率の山をもつ反強磁性体であることが判明した。

更にメスバウアー効果の測定結果は次表に示す。

温 度	内 部 磁 場 (H m)	四重極分離 (4 Δ F)	アイソマーシフト(ステンレス)
370° K	0	- 1.08 mm/sec	+ 0.35 mm/sec
360.5° K	37~38 KOe		
351° K	56 KOe	- 0.82 mm/sec	+ 0.39 mm/sec
341° K	70~71 KOe	- 1.09 mm/sec	+ 0.40 mm/sec
323° K	87~88 KOe	- 0.64 mm/sec	+ 0.30 mm/sec
291° K	110 KOe	- 0.63 mm/sec	+ 0.40 mm/sec
201° K	144 KOe	- 0.27 mm/sec	+ 0.52 mm/sec
7° K	163 KOe	- 0.18 mm/sec	+ 0.50 mm/sec

(c) 考察及び結論

液体空気温度から100℃までの範囲の内部磁場の変化はJ=2のBrillouin曲線で表わされる。熱し内部磁場の値163KOeからはFeの磁気能率は1~1.5 μBと考えられる。

四重極分離の値はFeGeの場合と符号が逆である。FeGeの場合スピン軸はC軸方向にあるのでスピン軸はC面内を向く可能性がある。

第5章 Fe-Cr 合金メスバウアー効果

(a) 緒 論

Crを15%以上を含むFe-Cr合金を500℃近傍で長時間焼鈍すると脆化する//475℃脆性//の現象は金属学上の問題として、種々の研究がなされて来た。此の焼鈍効果は焼入れのものと比較して次のような変化が観測される。即ち電気抵抗の減少、キュリー温度の上昇、比熱の異常X線回折線の変化等である。

強磁性合金ではFe核に働く内部磁場は隣接原子に影響されるので、内部磁場の測定から上記の変化を微視的な原子配列の立場から調べる。

(b) 試料の作製

99%Crと99.9%Feを高周波溶解炉で溶かし更に石英管に真空封入し1100℃で均質化し粉末とした。

焼入れ試料は1100℃から水中に焼入れた。焼鈍試料は500℃で150時間真空中で加熱した。

(c) 分析結果及びメスbauer効果の測定結果は下表に示す。

Cr (wt %)	焼 入 れ		500 °C 焼 鈍	
	内 部 磁 場	キュリー温度	内 部 磁 場	キュリー温度
20.1	(288±10)KOe	680 °C	(310±10)KOe	680 °C
29.9	(252±10)KOe	580 °C	(300±10)KOe	580 °C
38.4	(217±10)KOe	470 °C	(297±10)KOe	570 °C
46.5	(200±10)KOe	360 °C	(296±10)KOe	570 °C

焼入れ試料ではスペクトルはCr含有量と共に広がる。焼鈍試料では大体300KOe附近になる。又50%Cr近くになると中央に常磁性の吸収線も観測される。

(d) 磁気測定

キュリー温度の結果も上記の表にまとめてある。キュリー温度は、焼入れ試料はCr含有量と共に減少するが、焼鈍試料では570°C以下にはならない。

(e) 考察及び結論

焼鈍試料のメスbauer効果の吸収スペクトルはCr含有量の多い場合、中心附近に常磁性相の存在を示す吸収線があり又強磁性相の内部磁場が一定であることから二相に分解したことを示す。

570°Cで強磁性が消失することからこの二相は570°Cで再び固溶体化すると考えられる。又強磁性相の吸収スペクトルの巾は広いので、規則格子の存在は否定的である。

300KOeの内部磁場は12%Cr-Feに相当する。

第6章 Fe-Cr合金の比熱

(a) 緒 論

Fe-CrのCr含有量の多い焼鈍試料が570°Cで強磁性を失うことは前章で述べたが更に比熱の測定により磁性との関係を求める。

(b) 実験及び結果、考察

46.5%Cr合金の焼鈍試料は570°Cに比熱の山がある。これは強磁性の消失温度に相応する。全熱量は12.65 cal / grで通常の磁気変態熱よりはるかに大きい。

焼入れ試料では400°Cで比熱の谷があり、570°C附近に山がある。これは二相に分解するのは400°C附近で起り570°Cで再び固溶体化すると云う前章の結論と一致する。

第7章 総 括

以上のように、本研究においては、Fe合金または金属間化合物の磁性ならびに状態図の研究

手段として Fe^{57} のメスバウアー効果を利用し Fe^{57} 核の位置における内部磁場, isomer shift 電氣的四重極相互作用を測定した。その結果次の結論を得た。

- (1) Fe-Ge 系強磁性金属間化合物 Fe_3Ge の高温相と低温相とにおいては内部磁場の値に差は認められない。
- (2) Fe_5Ge_3 および Fe_5Sn_3 においては 2(d)位置の Fe の磁気能率は 2(a) のそれよりも大きく, 二つ又はそれ以上の分布を示す。
- (3) FeSn は 9.7°C に Neel 点をもつ反強磁性体であるがその四重適分離の値は FeGe と符号が逆である。
- (4) Fe-Cr 系合金の焼鈍による異常現象 (475°C 脆性) に関してメスバウアー効果に加うるに比熱測定, 磁気測定など併用して研究した結果, この現象は Fe-rich の相と Cr-rich の相に分解することによるものであることが認められる。

尚この論文で得られている(3)の FeSn の電氣的四重極分離が FeGe と逆符号であると言う結果から, FeSn における Fe のスピンの向きは FeGe のそれと異り C 面内にあることが予想されるが, そのことは後に我々の研究室の他の著者による中性子回折の実験で証明された。

主 論 文

- (1) Hisao Yamamoto
Mössbauer Effect of Ferromagnetic Intermetallic Compounds in Iron - Germanium System: Fe_3Ge and Fe_5Ge_3 J Phys Soc. Japan 20 (1965) 2166~2169
- (2) Hisao Yamamoto
Mössbauer Effect Measurement of Intermetallic Compounds in Iron-Tin System: Fe_5Sn_3 and FeSn J Phys. Soc. Japan 21 (1966) 1058~1062
- (3) Hisao Yamamoto
A Study on the Nature of Aging of Fe-Cr Alloys by Means of the Mössbauer Effect Japan J applied Phys 3 (1964) 745~748
- (4) Hisao Yamamoto and Hiroshi Sato
Calorimetric Study of Superlattice in Fe-Co-Cr Alloys. Trans Japan Institute of Metals 4 (1963) 256~258

論文審査結果の要旨

本研究の目的は主としてMössbauer効果の実験により二、三のFe合金系につき、その Fe^{57} 原子核位置における内部磁場電場勾配、アイソマーシフトの温度変化を測定し、X線回折磁気測定、比熱測定などの結果と合わせて磁性の本質を理解することにある。Fe-Ge系においては Fe_3Ge の低温相と高温相のMössbauer像の比較からこの両相における内部磁場の絶対0度への外挿値はほぼ等しいことを見出し、 Fe_5Ge_3 において2(d)位置の内部磁場は2(a)の位置の内部磁場よりも大きく、2個またはそれ以上の分布を示すことを見出した。またFe-Sn系における同型化合物 Fe_5Sn_3 についても同様な結果を得た。この結果は従来存在しかつ相矛盾している中性子回折の結果と照合して示唆に富んでいる。さらにFeSnの内部磁場の温度変化からこのものは97°Cにネール点をもつ反強磁性体であることを確認し、その四重極分離の値が同型のFeGeと逆符号であることからFeSnにおけるFeのスピンの軸は六方晶のC面内にあることを予想したが、これらの結論は後に他の著者によって行われた中性子回折実験で実証された。

またFe-Cr系については急冷試料と焼鈍試料の両者についてMössbauer効果の実験を行い前者においては内部磁場がCr含量の増加とともに一様に減少するに対し、後者においては約12%以上のCr含量に対しては必ず一定になり、かつ後者は強磁性相と常磁性相の混合物であることを確認した。この実験結果を同系に対する磁化温度曲線の測定および高温比熱測定の結果とあわせて考察することにより、焼鈍効果はFe-richの相とCr-rich相への分解を誘起するものであることを確認した。なお、これらの研究結果はJ. Phys. Soc. Japan, J.J.A.P., Trans. Japan Inst. Metalsに4篇の論文として印刷発表されている。本研究において著者はPt箔またはCu箔上にメッキした放射性 Co^{57} を線源としmodulation modeで作動するMössbauer効果測定装置を完成し、これを用いてFeを含む金属間化合物のFe原子の磁気能率に関する知見を得、またFe-Cr合金の475°C脆性の機構を探った。金属間化合物に関する結果は伝導電子のスピンの偏極の効果が第3隣接までおよんでいないこと、 B_8 構造化合物において2(d)位置の内部磁場が2(a)位置より大きいこと、FeSnがFeGe同様反強磁性体であることなど中性子回折実験と対比して興味あるものを幾つか得ている。さらにFe-Cr合金についての焼鈍効果の解明は最近金相学的諸手段によって漸次固められつつあった分解説に強固な支持を与えたものであって、Mössbauer効果の測定を金相学研究に役立てた好例を作った。よって山本尚夫提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。